

## 造礁サンゴの共生藻

川崎医療短期大学

川 口 四 郎

(平成2年8月27日受理)

### Symbiotic Algae in Reef Corals

Siro KAWAGUTI

*Kawasaki College of Allied Health Professions  
Kurashiki, Okayama 701-01, Japan  
(Recived on Aug. 27, 1990)*

**Key words:** 造礁サンゴ, 共生藻, 緑色蛍光色素

#### 概 要

造礁サンゴはサンゴ礁を造成する主役で、その原動力の一つは胃腔の組織内に共生褐虫藻をもつことである。造礁サンゴのポリプの構造、生活、褐虫藻の分布位置、量、状態などについて述べた。共生のための適應の例として緑色蛍光色素をあげた。非造礁性石珊瑚の共生らん藻を記述した。

造礁サンゴの進化を共生藻の推移に関連して考察した。

奄美、沖縄の島々を空から訪れる時、紺青の海に点点と浮ぶ濃緑の島は淡青色に縁どられ、時には、その外周に白線の走るのを眺めて感動する。この島の周縁は浅瀬で、その外縁はさらに浅くなる。これがサンゴ礁である。この美しく巨大なサンゴ礁が生物の造ったものと聞いて驚くことであろう。どのようにして造られるのであろうか。どんな営みが行われているのであろうか。つぎつぎに質問が出るであろう。

ここでは、サンゴ礁の主役を演じている造礁サンゴの生活の一面を彼らのもつ共生藻を中心に紹介しよう。

#### 造礁サンゴ

島の海岸に降りて、ボートに乗ったり自ら泳いで生きたサンゴ礁を潜水すれば、さまざまな色彩の美しさに目を奪われ、千変万化の形象に心が躍ることであろう。ところが、低潮時に干出したサンゴ礁に立つと、ほとんど全部が褐色で掩われている。あの美しい色は、どこに消え

たのであろうかと眼を疑いたくなる。このような色彩の変化を理解するには、まず、造礁サンゴはどんな動物で、どのような構造をもつかを知る必要がある。

造礁サンゴとは骨格が堆積して礁を造るサンゴ類の総称である。分類学上は腔腸動物花虫綱六放サンゴ類イシサンゴ(石珊瑚)目の中の褐虫藻をもつものを造礁性石珊瑚という。これを主体として、八放珊瑚、ヒドロ珊瑚に属するもので褐虫藻をもち石灰質の骨格をもつものなど含まれる。ここでは簡略のために石珊瑚についての記述を主とする。

六放サンゴ類には骨格を持っていないイソギンチャク類も含まれる。石珊瑚はイソギンチャクの基部に炭酸石灰の皿状または、かご状の骨格ができたものである。クサビライシ類のように単体で遊離生活のものもあるが例外で、大部分のものは基底の他物に固着し群体をつくる。群体は個虫の集合でできているが、排列などは種によって定まった規定に従っている。形は樹

枝状、塊状、葉状など、さまざまである。大きさは直径10cmにも達しない小群体もあれば、ハマサンゴのように個虫の大きさは直径約1mmであるが群体は数mに連する巨大なものもある。

### ポリプの構造

石珊瑚の軟体部は腔腸動物一般のように外皮、内皮の二層の細胞層からでき、その間に薄い中膠があって両層を結びつけている。

個虫（ポリプ）は、このような二重層からできた囊状で、上部に口が開き、口の周りに口板と呼ばれる部があり、その縁に体壁が管状に突出した触手がある。触手の数は6が基本で、6の倍数となるのが一般である。（これが6放サンゴに分類される理由である。）

ポリプの口から入った囊の中が胃腔で、こゝは内皮に掩われている。この胃腔に体壁の内皮が張出した隔膜がる。その数は触手の数に対応するのが一般である。隔膜は両面内皮で中間に中膠が挟まれている。

ポリプは大きく伸縮する。（例外もある。）大きく伸びた時には内皮外皮の細胞は扁平になり、縮んだ時には細長くなる。この変化に対応できるように細胞基底部中膠に接する部分が枝分れをしている場合が多い。この細胞の枝分れは外皮内皮で差がある。外皮では細胞が小さく基部中膠に密接して細かに分れ、長く伸びることが多い。内皮では細胞層の厚さの半以上から枝分れし、細胞間の空き間の広い構造となる。この広い空き間に後述の共生褐虫藻がある。このような複雑な構造を示すために光学顕微鏡では細胞膜の観察が困難で、特に内皮は多核質であると信じられていた。電子顕微鏡による観察では各細胞それぞれ細胞膜で隔てられていて多核質は認められない<sup>1)</sup>。

外皮基部の細かに枝分れし中膠に接して層状に列ぶ構造は触手や周口部など運動のよく起こる部に多く見られる。これらは散在神経系の神経層である。光学顕微鏡観察では神経線維が網目状に散在しているとされていたが、電子顕微鏡観察では各細胞から出た多数の細かい突起が層状になり神経叢を形成する<sup>2)</sup>。

ポリプとポリプの間は離れているものも多い。そこには体壁または触手の構造に似た組織があ

り、両ポリプを連結する。この部を共肉と呼ぶ。

### 骨 格

ポリプが集っても、基底の他物に付着して平面上に拡がることはできるが、立ち上って立体的な形成はできない。これを可能にしたのが骨格の形成である。

石珊瑚類の骨格は大部分（約95%）が炭酸石灰からできている。造礁サンゴを水中から採り出すと、すべて褐色で失望するが、軟体部を除去した骨格は真白に変る\*。各種それぞれ特徴のある微細構造をもっていて、その造形の妙、彫刻のすばらしさに感激を新にする。

石珊瑚の骨格の基本形態は、つぎのようである。ポリプに相應する骨格を莢と名づけ、周囲から輪状に立つ莢壁と放射状にならぶ隔壁（触手の数に対応する、基本6、隔膜の間に現われる）軸柱、底板などから構成される。隔壁は莢壁より外にのびて肋をつくる場合もある。

これらの骨格は外皮細胞が石灰化し堆積して形成される<sup>4)</sup>。このため骨格形成の盛んな部分では骨格の表面に外皮細胞の石灰化像が認められるが、古い部分では、ほとんど外皮細胞は見られず骨格は直接中膠に接する。この中膠は内皮に連らなり胃腔に面する。

### 共生藻 I — 褐虫藻

干潮時に見る造礁サンゴは、すべて褐色であると前述した。注意して観察すると、群体によって褐色に濃淡がある。一つの群体でも部位によって明暗がある。この褐色は共生褐虫藻によるもので、その濃淡は褐虫藻の分布の差異に起因する<sup>5)</sup>。分布は造礁サンゴの種によって差があり、同じ群体でも部位によって異なる。また、光の多少によっても変化する。強烈な日照を受ける礁原上にあるものでは上面が明色（褐虫藻が少）で、下面が暗色である。水深1m以上の所の群体は上面が暗色、下面が明色となる。

ミドリイシ群体や枝を海から実験室内に持ちこむと、翌日には褐虫藻が放出されて容器底に褐色の跡が見られる。長い間、暗い所で飼うと

\* 唯一の例外はキクメイシモドキで<sup>3)</sup>、骨格は褐色で特異な色素を顆粒として含む。

群体は明色化する。

高温、低塩分濃度など悪条件下においても褐虫藻が放出される。大雨の後に広い海域にわたって造礁サンゴが白化することが各地で報告されている<sup>6)</sup>。

ポリプを日中伸展している造礁サンゴではその部分に褐虫藻が分布するのが一般である。日中縮んでいて夜中に伸展するものでは、そこに褐虫藻は分布せず透明で、夜の姿は昼のものと全く異ったものである<sup>7)</sup>。

造礁サンゴの褐色の濃淡の差のある数種の群体の一部を資料とし、これを磨り潰して容積を測り、その1 mm中にある褐虫藻数を計測した。褐色の淡いハナヤサイサンゴでは約5000、褐色の濃いミドリイシやコモンサンゴでは約28000であった。褐虫藻数は種によって差がある<sup>8)</sup>。これはポリプの組織量の差にもよる。これらの数値を褐虫藻とほぼ同大のヒトの赤血球の場合と比較すると非常に少ない。これは褐虫藻がポリプ組織内で光を受け易い外表面に膜状に一層に排列するためである。褐虫藻は平面分布、血球は立体分布の差である。

組織標本を調べると、褐虫藻はポリプや共肉の外側に面した胃腔の内皮基部で細胞の分枝する所に存在する。中膠に接して一列に並ぶのが一般である。種により、群体の部位によって分布に疎密がある。ポリプの隔膜や骨格の内側の部には分布しない。また、骨格の外側にある胃腔においても骨格に面した内皮には褐虫藻はない。彼らが光を受け得る位置にある。このような排列は褐虫藻の自主性によるもので、受光状態の変化に応じて位置を移動すると考えられる。褐虫藻は造礁サンゴの骨格をもった群体構造を利用して、拡張した軟体部の全表面に立体的に成育場所を拡大した。

電子顕微鏡観察によると褐虫藻は内皮の細胞内ではなく、枝分れをした部分で細胞間にある<sup>9)</sup>。光学顕微鏡観察や不用意な電子顕微鏡観察では見誤りやすい。

造礁サンゴの組織内にある褐虫藻は直径7～10  $\mu$ の球形である。電子顕微鏡観察でも球形で細胞膜も薄い二重膜で、内側に葉緑体が一層にならぶ、葉緑体は高等植物のものとは異り、薄いチラコイドの積重構造である。核も特異で微細な

DNA繊維の集合体である。

褐虫藻をサンゴ体外に採り出して培養すると、間もなく縦横二本の鞭毛をもった渦鞭毛虫(藻)となって泳ぎ廻る。この事実は1936年パラオ諸島コロール島にあった熱帯生物研究所に滞在中に見付けた。それまでは、褐虫藻は造礁サンゴの胃腔細胞内に共生し、親から子に伝えられると考えられていた。幾度も実験を繰り返した後、1941年に和文で短報し、1944年に欧文報告した<sup>10)</sup>。学会で認められるのに年月を要し1959年米国で追試された<sup>11)</sup>。その後、褐虫藻の生活環、その他の動物との共生\*などについて多くの研究者によって報告された<sup>12)13)</sup>。

褐虫藻は光合成を行う材料として、造礁サンゴが出す老廃物  $\text{CO}_2$  や  $\text{NH}_3$  などを除去する<sup>7)</sup>。その見返に生産された  $\text{O}_2$  や有機物を提供し、骨格形成を促進する。造礁サンゴは体内に自家農園をもったと言えることができる。造礁サンゴには褐虫藻は不可欠の協力者である。このため造礁サンゴは光の十分にある浅海に分布する。その上、褐虫藻は温水性のもので造礁サンゴも暖海にすむ。熱帯の海は澄明であるが、水は光合成に必要な光を吸収し易いので深さ約100mが成育限度である。海水の透明度によって成育深度が変わる。造礁サンゴは底生であるので底層の濁りが大きく影響する。浅い海でも暗い場所には生息しない。

造礁サンゴは共生褐虫藻から有機物を入手すると述べたが、胃腔の内皮細胞の働きで褐虫藻を消化するのではない。内皮にある褐虫藻は、いつも球形で、ほとんど変化がない。キクメイシモドキで内皮の褐虫藻の細胞膜が幾層にもなり外層から破壊していることが電子顕微鏡で観察された<sup>15)</sup>。これは、褐虫藻が新しい細胞膜をつぎつぎに新製すると外側のものから造礁サンゴが消化利用することを示している。

また、相模湾の水深20mで冬期採集されたハナガササンゴの組織標本で褐虫藻の消化像が観察されたこともある。この問題は、さらに注意深い検討が必要である。

造礁サンゴの食物は褐虫藻からの植物性ばかりでなく、小型プランクトンなど動物性のもの

\* 二枚貝と褐虫藻との共生については本誌に報告した<sup>14)</sup>。

も大切である。ポリプを日中伸ばしているものでは、魚肉片などを興えると触手で採り口に運んで食べる。夜間ポリプを展げるものでは夜に小動物を捕え、昼は褐虫藻を前面に出し光合成を行う。昼は植物の営をし、夜は動物に早変わりする。

彼らが食物となる動物を採るには刺胞を使う。刺胞は腔腸動物特有のもので、そのために刺胞動物とも呼ばれる。刺胞は触手や周口部、隔膜の縁が伸びた隔膜系などに多い。刺胞細胞で形成されて、刺戟を受けると放出され、獲物に接触すると刺胞糸を噴出して、獲物を刺し毒液を注入して麻痺させる。刺胞には小型で多数にある小銃弾型のものや、数は少ないが大型で猛毒の大銃弾型のものなど各種ある。サンゴの種類によっても異なる。

### 緑色蛍光色素

海水中で見る造礁サンゴは緑、赤、紫、黄など美しい。これらの色素は主に外皮細胞中にある。ポリプや共肉の体壁が伸展している時は内皮中の褐虫藻の暗色部が外皮と離れバックとして作用し、外皮の色が鮮明である。縮むと外皮と褐虫藻の色が重なり褐色となる。

緑色色素は光学顕微鏡では生きた外皮細胞に存在は認められるが形は見えない。組織標本では認められない。電子顕微鏡では外皮細胞内に直径約 $0.2\mu$ の微小粒として含まれる<sup>16)</sup>。その分布量は緑色の濃淡に比例する。濃いものでは小粒が充満し、淡いものでは疎にある。種による差も著しいが、多くの種に見られる。非造礁性石珊瑚やイソギンチャク類にもある。

生体の緑色色素は蒸留水によく溶け出し美しい緑色液となる<sup>17)</sup>。この液は透過光線では淡紅色であるが、反射光では緑色である。紫外線をあてると、もっと美しい緑色を呈する蛍光色素である。生体でも同じように紫外線下では日光下でみるより美しい緑色となる。自然光下では緑色を認められないようなサンゴでも、紫外線下では緑色を呈する場合も多い。

この緑色蛍光色素の吸収スペクトルには短波長部に大きい吸収帯がある<sup>18)</sup>。波長 $280\text{m}\mu$ の紫外線をあてると蛍光スペクトルは $460\sim 500\text{m}\mu$ 緑色の蛍光を呈する。紫外線が緑色光に変る。紫

外線が多い熱帯の海で、内皮にある褐虫藻が害を受けないようにこの色素が保護フィルターとして役立っている。そればかりでなく、有害紫外線を共生藻の光合成に利用できる有効光線に変える。すばらしい協同作用である。

この緑色蛍光色素をもつのは、浅海の石珊瑚ばかりでなく $100\text{m}$ 以上の深い海で採集されたミドリイシやセンスガイにも認められた。海水には緑黄色光より青色光の方がよく透過するので、これを有効光線に変えていると考えられる。

造礁性石珊瑚のセンベイスンゴ類は水深 $50\text{m}$ 附近に生育するのが一般であるが、パラオ諸島コロール島の岩山湾では島の岸が潮の影響で深い凹み（ノッチ）になり、その上に樹木が繁って暗くなった所では、海水は澄明であるが、低潮線附近まで分布する。このサンゴの骨格は薄く扁平になる。石垣島川平湾内水道部（水深 $10\sim 15\text{m}$ 幅 $50\sim 100\text{m}$ の滞りが湾奥までつゞく）の日光を遮るものがない所でも水深 $2\sim 10\text{m}$ の所で、ハシラセンベイスンゴが分布する。この群体の上面は濃い褐色で日光下では緑色は全く見えないが、紫外線をあてると緑色を呈する。群体の下面は淡い褐色で褐虫藻の分布も少なく、紫外線下でも緑色はない。群体上面組織を電子顕微鏡で観察すると前述のような小顆粒が認められる。ところが、こゝでは緑色蛍光色素顆粒は外皮細胞ではなく、内皮細胞内にある<sup>19)</sup>。よく調べると、この顆粒は色素胞と考えられる細胞内にある。また、この細胞は顆粒をもった外皮細胞が移動したとも考えられる。

光の強い時には褐虫藻が中膠から離れ、その間に緑色蛍光色素胞がのびて、外皮細胞内にあった時と同じように保護フィルターとして紫外線を除き、これを有効な緑色光に変える。光が弱い時には緑色蛍光色素は褐虫藻の上面から側方に移動し、フィルターを完全に除去し、その上、褐虫藻も中膠に接近し受光量を多くする。緑色蛍光色素は褐虫藻の側方を通過する紫外線を有効光線にかえて褐虫藻に送る。

川平湾奥水道部では引潮（特に風の日）には非常に濁るが、上潮には外海の潮がきて澄明となる。快晴の日中の上潮には強い光を受け紫外線も多い。曇り空の下潮には非常に光量が少ない。光量が極端に変動する。この変動に適切に

対応している。驚嘆の他はない。

### 共生藻Ⅱ—らん藻

褐虫藻を持っていない石珊瑚は光合成を行わないので、光の少ない深い海や寒い所に分布するのが一般でサンゴ礁を造らない。これらを非造礁性石珊瑚と呼び、前述した造礁性石珊瑚と区別する。この区別は分類学上のものではないので、同じ仲間が両者に分別されることがある。例えば、サンゴ礁でよく見られるスリパチサンゴ類はキサンゴ科に属し褐虫藻をもち造礁性石珊瑚であるが、キサンゴ科の他のものは非造礁性石珊瑚が多い。

非造礁性石珊瑚の中には造礁性石珊瑚と同じような場所に生育することがある。サンゴ礁でも他の群体の裏側のすき間や礁の割目など暗い所に生息する。表層近くにも見られる。

イボヤギ、キサンゴなどの赤や黄赤色を帯びるのは外皮に多量の色素顆粒を含むためである<sup>20)</sup>。これらの石珊瑚は夜も昼もポリプを伸展しているのが普通で、動物性プランクトンを捕えて食物とする。電子顕微鏡観察では内皮には食物として取り入れられた顆粒も多いが、直径1～2 $\mu$ の球形のらん藻と考えられるものが認められる。

ナンヨウキサンゴは形はオノミチキサンゴによく似ているが、非造礁性珊瑚の中の例外で、赤黄色とは全く異った黒または褐黒色である。その上、表面には緑色蛍光色素をもつことが多い。生息場所は他の造礁サンゴと共に直射日光のあたる礁原上である。日中はポリプを縮め、夜に伸ばす。造礁サンゴの性質を示す。外皮に黒褐色色素を多量に含み、これで強い日光を遮る。内皮には褐虫藻はないが直径1～2 $\mu$ の淡緑色のらん藻を多数もつ。

深い海にすむセンガイも他の型の例外で、淡褐色を呈していて、褐虫藻をもつものの見分けが肉眼では困難である。こゝでも、褐虫藻の代りに、らん藻が含まれている<sup>18)</sup>。

このように非造礁性石珊瑚には褐虫藻はないが、らん藻が含まれている。これが共生藻となっている。

### 共生の進化

造礁サンゴと褐虫藻との共生はどのようにし

て始まったのであろうか。個体発生では、受精卵には褐虫藻はない。発生の途中、幼生の時に褐虫藻を内皮に採りこんで、消化をせずに共生関係に進む。この経過は、放卵受精後、幼生の自由生活中に起るものと、親ポリプ内で進行し、褐虫藻をもった幼生が放出されるものとする。

幼生の自由生活中に共生が起る場合、卵や初期幼生は赤橙色を呈するのが一般である。非造礁性石珊瑚では、その時期、これと同じようでも、その後、褐虫藻との共生は起らず、そのまゝの状態がつまいて成体となる。幼生が親ポリプ内で褐虫藻との共生関係が成立するものは、更に発達したものと考えられる。

非造礁性石珊瑚は一般に褐虫藻はないが、らん藻を共生藻として保有する。この事実は石珊瑚では、らん藻と共生したものが先に現われ、つぎに褐虫藻との共生が起ったことを暗示している。

ところで石珊瑚の系統発生あるいは系統分類学上では褐虫藻との共生は、いつ出現したのであろうか、前述したように現生種では、同科の中に、褐虫藻の有るものと無いものを含むものがある。系統発生の分化が起った後に共生関係ができたと考えられる。

古生物学上、現在と同じような石珊瑚が勢揃したのは約6500万年前の新世代第三紀であった<sup>21)</sup>。古い型の多くのものが絶滅し、代りに新しいものが多く現われた。石珊瑚が現われたのは、さらに古く約2.3億年前の中世代三疊紀であった。それまで古生代に栄えた四放サンゴ類が絶滅した後であった。これらの三疊紀石珊瑚の起源については四放サンゴとの関連が考えられているが明確ではない。また、これらの古い石珊瑚類が褐虫藻をもっていたかどうかは知られていない。

この古生物学上の事実を現生石珊瑚の観察と結びつけて石珊瑚の進化と共生藻の変遷を推論すれば、つぎのようである。

囊状の幼生が6本の触手、6個の隔膜、隔壁をもつ単体の始原石珊瑚として、らん藻をもって古生代に発生した。骨格の形成が十分でなく、化石が残っていない。中世代になって骨格が発達して群体を形成し、分布を拡げた。第三紀になって熱帯の海で褐虫藻との共生を獲得して、

造礁サンゴが出現し、大発展をして今日見られるような、サンゴ礁を形成するようになった。

造礁サンゴはサンゴ礁造成の主役を演じているが、その原動力は褐虫藻との共生で得られた。この共生藻のために造礁サンゴはいろいろと工夫した。

本誌には前に貝類について報告したので今回は造礁サンゴを選んだ。昭和6年夏、石垣島のサンゴ礁を訪れた。それ以後サンゴ礁の虜となつて60年、本学の講義にも毎年サンゴ礁の生物たちの紹介を続けて18年になった。

この間、学園理事長先生はじめ短大の諸先生、皆さんに大変お世話になりましたこと、心から感謝申し上げます。大学は教えるのではなく学ぶ所と考えていて、学生諸姉兄には迷惑をかけましたことをお詫びします。

造礁サンゴは下等な動物と思われるが、精巧な彫刻を造り巨大な礁を築きあげる。計り知れない力がある。植物との共生という新生命を創造し環境への適応に工夫をこらし精一杯に生きている。すばらしい。彼らを見つめていると、その日その時の表情があり、いろいろと語りかける。サンゴ礁からの帰りには、また来るように誘われる。離れられない。

## 文 献

- 1) Kawaguti, S. et al : Electron microscopy on the polyp of staghorn corals with special reference to its skeleton formation. Biol. Jour. Okayama Univ. **14**, 87~98 (1968)
- 2) Kawaguti, S. : Electron microscopic study of the nerve plexus in the polyp of a reef coral. Proc. Japan Acad. **40**, 122~124 (1962)
- 3) Kawaguti, S. : Skeletal pigments of a scleractinian coral *Oulastrea crispata*. Proc. 5th Int. Coral Reef Cong. Tahiti **6**, 53~55 (1985)
- 4) 川口四郎, 他 : 造礁サンゴ *Leptoseris* sp. の造骨組織の電子顕微鏡的研究, 川崎医大一般教養紀要, **3**, 59~66 (1977)
- 5) Kawaguti, S. : On the physiology of reef corals II The effect of light on colour and form of reef corals. Palao Trop. Biol. Sta. Studies **2**, 199~208 (1937)
- 6) Goreau, T. F. : Mass expulsion of zooxanthellae from Jamaican reef communities after hurricanes "Flora". Science N.Y. **145**, 383~386 (1964)
- 7) Kawaguti, S. : Effect of light and ammonium on the expansion of polyps in the reef corals. Biol. J. Okayama Univ. **2**, 45~50 (1954)
- 8) Kawaguti, S., et al : Population densities of zooxanthellas in reef corals. Biol. J. Okayama Univ. **16**, 67~71 (1973)
- 9) Kawaguti, S. : Zooxanthellas in the corals are intercellular symbionts. Proc. Japan Acad. **40**, 545~548 (1964)
- 10) Kawaguti, S. : On the physiology of reef corals VII Zooxanthella of the reef corals is *Gynodinium* sp., Dinoflagellata, its culture in vitro. Palao Trop. Biol. St. Studies **2**, 675~679 (1944)
- 11) McLaughlin, J.J.A. et al : Axenic zooxanthellae from various invertebrate hosts. Ann. N. Y. Acad. Sci. **77**, 55~72 (1959)
- 12) Trench, R.K. : The physiology and biochemistry of zooxanthellae symbiotic with marine coelenterates. Proc. Roy. Soc. London B **170**, 230~250 (1971)
- 13) Fitt, W.K. : The effect of chemosensory behavior of *Symbiodinium microadriaticum*. Marine Biol. **81**, 9~17 (1984)
- 14) 川口四郎 : 褐虫藻と共生する二枚貝。川崎医療短大紀要, **3**, 77~82 (1983)
- 15) Kawaguti, S. : An electron microscopic proof for a path of nutritive substances from zooxanthellae to the reef coral tissue. Proc. Japan Acad. **40**, 832~835 (1964)
- 16) Kawaguti, S. : Electron microscopy on the fluorescent green of reef corals with a note on mucous cells Biol. J. Okayama Univ. **12**, 11~21 (1966)
- 17) Kawaguti, S. : On the physiology of reef corals VI Study on the pigments. Palao Trop. Biol. St. Studies **2**, 617~678 (1944)
- 18) Kawaguti, S. : Electron microscopy on symbiotic algae in reef corals. Pub. Seto Mar. Biol. Lab. **20**, 779~783 (1973)
- 19) 川口四郎 : 石垣島川平湾産 *Leptosoris* sp. の緑色蛍光色素 (1978) 川平湾サンゴ礁調査報告会
- 20) Kawaguti, S. et al : Electron microscopy on the polyp and pigment granules of an aheymatypic coral, *Dendrophyllia cribrosa*. Biol. J. Okayama Univ. **12**, 69~80 (1966)
- 21) Wells, J.W. : Scleractinia : in Treatise on invertebrate paleontology F Coelenterata (ed. R. C. Moore) F. 328~444 (1956)